

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Vliv naklonění opěrné gravitační zdi na stabilitu proti překlopení a posunutí  
The Influence of Gravity Wall Declination on Factor of Safety Against  
Overturning and Sliding

Student:

Klára Malotová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marek Mohyla

Ostrava 2016

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 29.4.2016 .....



.....  
podpis studenta

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadu, v rámci školních představení a užití díla a § 60 – školní dílo,
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že odevzdávám své práce souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 29.4.2016 .....



.....  
podpis studenta

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Klára Malotová**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika  
Téma: **Vliv naklonění opěrné gravitační zdi na stabilitu proti překlopení a posunutí**  
**The Influence of Gravity Wall Declination on Factor of Safety Against Overturning and Sliding**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod do problematiky  
Konstrukční a technologické řešení výstavby gravitačních zdí  
Statické řešení gravitačních zdí  
Parametrická studie vlivu naklonění gravitační zdi na stabilitu proti překlopení a posunutí s využitím softwaru GEO 5  
Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

HULLA J., TURČEK P., BALIAK F., KLEPSATEL F. *Předpoklady a skutečnost v geotechnickom inžinierstve*. Bratislava: Jaga Group, v.o.s., 2002. ISBN 80-88905-42-7.  
ROZSYPAL A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Bratislava: Jaga Group, v.o.s., 2001. ISBN 80-88905-44-3.  
HULLA J., TURČEK P. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga Group, v.o.s., 2005. ISBN 80-8076-023-3.  
SARSBY R. *Environmental geotechnics*. London: Thomas Telford Ltd, 2000. ISBN 0-7277-2752-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Mohyla**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

## Anotace:

MALOTOVÁ, K. *Vliv naklonění opěrné gravitační zdi na stabilitu proti překlopení a posunutí*: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební. Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, 2016, 66 s. Vedoucí práce: MOHYLA, M.

Bakalářská práce se zabývá problematikou opěrné gravitační zdi, především její stabilitou proti překlopení a posunutí. Úvodem bakalářské práce jsou popsány jednotlivé druhy opěrných zdí, včetně gabionových zdí. Následně je popsáno odvodnění s působení zemních tlaku na konstrukci. Další kapitola se věnuje stabilitě opěrných zdí s popisem jednotlivých statických posouzení. V praktické části práce je zpracována a vyhodnocena parametrická studie vlivu naklonění opěrné gravitační zdi na stabilitu proti překlopení a posunutí s využitím softwaru GEO5 podle normy EN 1997. Na závěr jsou výsledky vyhodnoceny a pro lepší přehlednost zpracovány do tabulek a grafů.

## Klíčová slova:

Gravitační zeď, Gabiony, Stabilita, Geo5, Posunutí, Pootočení.

## Annotation:

MALOTOVÁ, K. *The Influence of Gravity Wall Declination on Factor of Safety Against Overturning and Sliding*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Geotechnics and Underground Engineering, 2016, 66 p. Bachelor head: MOHYLA, M.

Bachelor thesis deals with issues of supporting gravitational wall, especially its stability against overturning and displacement. Introduction of thesis describes individual types of supporting walls, including gabion walls. Subsequently thesis describes draining with effect of ground pressure to construction. The next chapter devotes stability of supporting walls with description individual static reviews. In the practical part of thesis is processed and evaluated parametric study of the influence of gravity wall declination on factor of safety against overturning and sliding with use GEO5 according to standard EN 1997. In conclusion, the results are evaluated and processed in tables and graphs for better clarity.

## Keywords:

Gravitational Wall; Gabions; Stability; GEO5; Displacement; Rotation.

# Obsah

Seznam použitého značení .....	9
1. Úvod .....	11
2. Opěrná zeď .....	12
2.1 Gravitační opěrná zeď .....	12
2.1.1 Zděné gravitační opěrné zdi .....	12
2.1.2 Betonové gravitační zdi .....	14
2.1.3 Suché kamenné zdi .....	16
2.2 Zárubní zeď .....	17
2.3 Úhlová zeď .....	17
2.4 Obkladní zeď .....	19
3. Gabiony .....	20
3.1 Konstrukce gabionu .....	21
3.2 Technologický postup výroby gabionů .....	22
4. Odvodnění .....	23
5. Zemní tlaky .....	25
5.1 Aktivní zemní tlak .....	26
5.2 Pasivní zemní tlak .....	27
5.3 Tlak v klidu .....	28
6. Stabilita .....	29
6.1 Vnitřní stabilita .....	29
6.2 Vnější stabilita .....	35
7. Parametrická studie vlivu naklonění gravitační zdi na stabilitu .....	37
7.1 Posouzení .....	37
7.1.1 Posouzení pomocí programu GEO5 .....	38
7.1.2 Výsledky podle GEO5 .....	38
8. Závěr .....	41
9. Poděkování .....	42
10. Seznam použité literatury .....	43
11. Seznam tabulek .....	44

12.	Seznam obrázků .....	45
13.	Seznam grafů .....	46
14.	Seznam rovnic .....	47
15.	Seznam příloh.....	48



## Seznam použitého značení

Značka	Veličina	Jednotka
A	plocha	m <sup>2</sup>
A <sub>eff</sub>	efektivní plocha	m <sup>2</sup>
E <sub>def</sub>	modul přetvárnosti zeminy	MPa
G	tíha	kN
H	vodorovná složka výslednice	kN
K	součinitel zemního tlaku	-
K <sub>a</sub>	součinitel aktivního zemního tlaku	-
K <sub>b</sub>	součinitel zemního tlaku v klidu	-
K <sub>p</sub>	součinitel pasivního zemního tlaku	-
M	moment	kN·m <sup>-1</sup>
N	normálová složka výslednice	kN
Q <sub>1</sub>	síla drátu gabionových zdí	kN
R <sub>d</sub>	únosnost základové půdy	kPa
R	výslednice sil	m
S <sub>a</sub>	výslednice aktivního zemního tlaku	kN
S <sub>ax</sub>	vodorovná složka výslednice aktivního tlaku	kN
S <sub>az</sub>	svislá složka výslednice aktivního zemního tlaku	kN
S.F.	stupeň bezpečnosti	-
V	posouvající síla	kN
W	obsah proužku	m <sup>2</sup>
b <sub>t</sub>	šířka gabionové zdi	m
c	soudržnost	kPa
c <sub>eff</sub>	efektivní soudržnost	kPa
d	založení zdi	m
d <sub>v</sub>	průměr drátu	mm
e	excentricita	m
h	výška zdi	m
h <sub>1</sub>	výška nadnásypu	m
h <sub>ac</sub>	kritická výška	m

$h_t$	výška gabionové zdi	m
$h_w$	výška hladiny podzemní vody	m
$k$	šířka koruny zdi	m
$r_s$	vzdálenost od osy zdi k těžišti	m
$u$	pórový tlak	kPa
$x$	vzdálenost osy proužku od středu	m
$\alpha$	úklon smykové plochy	°
$\beta$	sklon povrchu terénu	°
$\gamma$	objemová tíha zeminy	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$
$\gamma_{\text{sat}}$	objemová tíha zeminy plně saturované	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$
$\gamma_{\text{su}}$	objemová tíha zeminy pod hladinou podzemní vody	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$
$\gamma_w$	objemová tíha vody	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$
$\gamma_{\text{bet}}$	objemová tíha betonové směsi	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$
$\delta$	úklon výslednice zemního tlaku od normály	°
$\pi$	pí	-
$\sigma$	zemní tlak	kPa
$\sigma_1$	svislé hlavní napětí	kPa
$\sigma_3$	vodorovné hlavní napětí	kPa
$\sigma_a$	aktivní zemní tlak	kPa
$\sigma_p$	pasivní zemní tlak	kPa
$\sigma_r$	zemní tlak v klidu	kPa
$\sigma_{\text{xs}}$	vodorovné napětí	kPa
$\sigma_{\text{xs}}$	případné vodorovné napětí	kPa
$\sigma_z$	svislé napětí	kPa
$\sigma_z'$	efektivní složka svislého napětí	kPa
$\phi$	vnitřní úhel tření	°
MKP	metoda konečných prvků	
NP	návrhový přístup	

# 1. Úvod

Z důvodu podřízení okolního prostředí vůči zástavbě a vlivem narušení původní napjatosti vznikají v zemině nežádoucí jevy, které je potřeba eliminovat nebo jim alespoň předejít. Jedná se především o stavby spojené s výstavbou komunikací, železničních drah, vodních koryt, ale také zajištění svahu proti sesuvům.

Jedním z mnoha způsobů zajištění stability svahu je realizace opěrných zdí. V minulosti se používaly jako hradní opevnění, dnes slouží jako postranní omezení násypu nebo zářezu převážně u dopravních stavitelství. Dnes se od běžných betonových zdí opouští a jejich moderní náhražkou se stávají drátěné koše vyplněné kamenivem – gabiony. Díky správnému návrhu, výstavbě, způsobu odvodnění, systémem drenážních trubek a filtračních komínů, je možno navrhnout opěrnou zeď s dlouholetou životností.

Bakalářská práce se zabývá opěrnou gravitační zdí a vlivem jejího naklonění na stabilitu proti překlopení a posunutí. Její posouzení bude provedeno na základě výpočtu pomocí softwarového programu GEO5. Hlavní úkolem je vyhodnocení postupného náklonu zdí.

Práce je rozčleněna do dvou hlavních částí. První část je formou rešerše. Zde je zpracováno konstrukční a technologické řešení výstavby gravitačních zdí. Část druhá uvádí praktické řešení opěrné zdi.

## 2. Opěrná zed'

Opěrná zed' je jedna z nejstarších stavebních prvků, se kterou se můžeme setkat snad ve všech odvětvích stavebního inženýrství, velmi často spojené s funkcí ochranou zejména lidských obydlí nebo jako vojenskou pevností. Nejčastěji se s ní setkáváme v dopravním, vodním a pozemním stavitelství. Jejich funkcí je zajištění prostředí za rubem zdi, které je narušeno zemními tlaky, případně přitížením terénu od okolních staveb a vlastní tíhou. Jedná se především o zajištění svahů proti sesuvům.

### Druhy zdí:

- Gravitační opěrná – opírá se o násyp,
- zárubní – podepírá zářez,
- obkladní – podchycuje stávající opěrné konstrukce nebo chrání odkryté horniny před klimatickými vlivy,
- úhlová.

### 2.1 Gravitační opěrná zed'

Základním principem gravitačních zdí je zajištění stability pouze vlastní tíhou. Je však důležité správné odvodnění za rubem zdi, které by konstrukci zatěžovalo. Opěrná zed' podpírá omezení násypu a nahrazuje násypový svah. Zachycuje vodorovné a šikmé tlaky od zhutněné zeminy za svým rubem a eventuálním nadnásypem a přitížením konstrukce vozovky a následným přitížením dynamickými rázy vzniklými provozem na komunikaci. [1]

#### Rozdělení podle materiálu:

- Zděné,
- betonové,
- suché kamenné.

#### 2.1.1 *Zděné gravitační opěrné zdi*

S výstavbou zděných gravitačních opěrných zdí se dnes setkáme už výjimečně, spíš jen u rekonstrukcí nebo v zahradní architektuře. Jedná se o zdi z cihel nebo z opracovaných kamenných bloků spojené maltou. Jejich rekonstrukce jsou hlavně v důsledku stárnutí konstrukce, která často bývá spojena se:

- Špatným odvodněním,
- sníženou pevností spojovací malty, vlivem její degradace,
- zvětráváním jednotlivých kusů materiálu, což vede k jejich vypadávání z konstrukce.

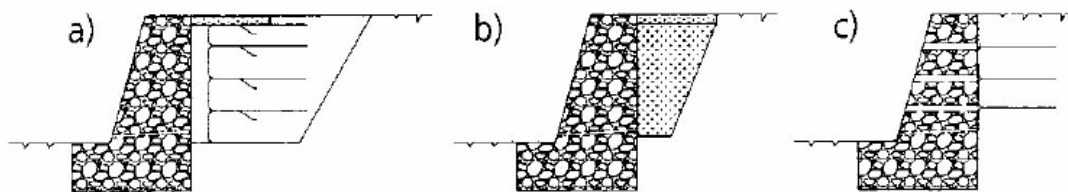
O rekonstrukci se dá mluvit pouze u prvních dvou případů, u třetího se řeší její odlehčení za rubem zdi.



*Obr. 2.1 - Zed' z kamenných bloků*

#### Způsoby rekonstrukce:

- a) Za rubem zdi se zemina vyztuží a současně se vytvoří vzduchová mezera mezi zdí a zeminou. Díky vzduchové mezeře dojde k nulovému zatížení konstrukce. (obr.2.2a)
- b) Dalším způsobem je použití vylehčeného materiálu za rubem zdi, kde se jedná především o pórovitý materiál, např. Liapor, keramzit, (obr.2.2b)
- c) Aplikováním hřebů se na rubu zdi vytvoří hřebíková stěna eliminující zatížení staré zdi. Otvory ve zdi, které byly vytvořeny pro aplikaci hřebů, jsou následně vyplněny. (obr.2.2c) [2]



Obr. 2.2 - Způsoby rekonstrukce [2]

### 2.1.2 Betonové gravitační zdi

Líc opěrné zdi bývá šikmý a navrhuje se ve sklonu 5:1 až 10:1. Rub konstrukce může být též v mírném sklonu, ale převážně se provádí jako svislý. Základová spára musí být v nezámrazné hloubce, která je v našich podmínkách v rozmezí 0,8 až 1,2 m. Vyložení základu je v poměru 1:2. Celkové založení opěrné zdi  $d$  je založeno na působení aktivních a pasivních sil od zeminy a konstrukce, které je dáno výpočty. [1],[2]

Šířka koruny opěrné zdi:

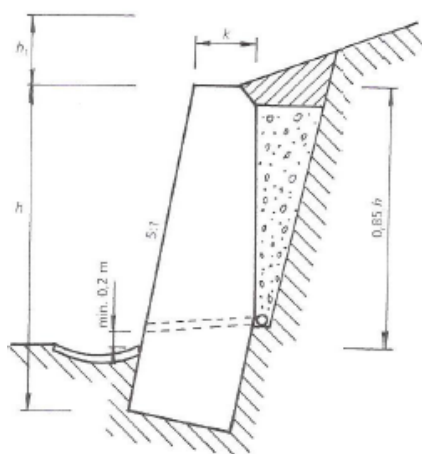
- Minimálně 600 mm,
- při tvaru podle obr. 2.3 je dána vzorcem,

$$k = 0,44 + 0,2h \quad (2.1)$$

- v případě, že nadloží je větší jak 1m, se použije vzorec

$$k = 0,44 + 0,2h + \frac{1}{30} h_1 \left( 2 - \frac{h_1}{2h} \right) \quad (2.2)$$

- empirické vzorce. [1]



Obr. 2.3 - Tvar opěrné zdi [2]

Rub zdi se zpravidla navrhuje kolmý, avšak to není podmínkou, jeho tvar může být též šikmý, se stupni. (obr. 2.4)



Obr. 2.4 - Rub opěrné zdi [2]

### Zatížení

Základním zatížením je aktivní zemní tlak  $S_a$ . V případě, že se při výpočtu zemních tlaků uvažuje vliv tření mezi zeminou a konstrukcí, pak zemí tlak  $\sigma$  respektive jeho výslednice  $S_a$  svírají s rubem konstrukce úhel  $\delta$ . S rostoucí hodnotou  $\delta$  klesá horizontální složka aktivního zemního tlaku. Úhel  $\delta$  se pohybuje nejčastěji v rozmezí 1/3 až 2/3 úhlu vnitřního tření  $\varphi$  viz. tab.1, kde je uvedena jen část hodnot.[1],[3]

Tab. 1 - Hodnoty úhlu pro různá rozhraní (dle NAVFAC) [3]

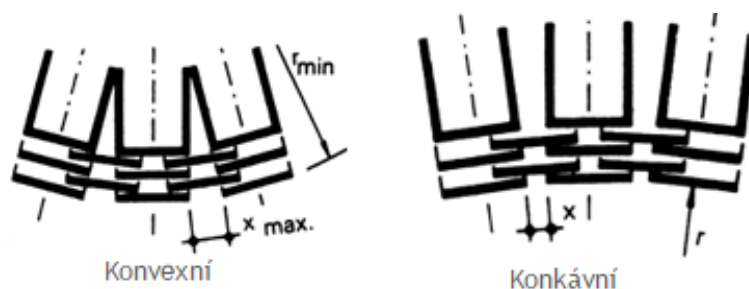
Materiál rubu konstrukce	Faktor tření $\tan \delta$	Třecí úhel $\delta$ [°]
<b>Masivní beton a následující okolní prostředí</b>		
Neporušená, zdravá hornina	0,7	35
Štěrk, štěrkopísek, hrubozrný písek	0,55 až 0,60	29 až 31
Jemnozrný písek, hlinitý či jílovitý štěrk	0,45 až 0,55	
Jemnozrný písek, písek s příměsí jílu či hlíny	0,35 až 0,45	19 až 24
Hlína písčitá, neplastická prachová zemina	0,3	17 až 19
Pevný až tvrdý jíl či překonsolidovaný jíl	0,4 až 0,50	22 až 26
Tuhý až měkký jíl a hlína	0,30 až 0,35	17 až 19
<b>Ocelová štetovnice v následujícím okolním prostředí</b>		
Štěrk, štěrkopísek, dobře zrněná sypanina z drolicí se horniny	0,4	22
Písek, směs písčité hlíny a štěrku, sypanina stejného zrna pevné horniny	0,3	17
Hlína písčitá, štěrk či písek s příměsí hlíny či jílu	0,25	14

Proti pohybu zdi působí zemní tlak pasivní  $S_p$ , avšak je nutno vzít v úvahu, že v případě rovnováhy nemusí být plně mobilizován, neboť posun pro vznik aktivního zemního tlaku je menší než posun požadovaný pro plnou mobilizaci pasivního zemního tlaku. Proto se běžně při posudku opěrných zdí pasivní odpor zanedbává. Posouzení zdi v důsledku zatížení je popsáno v kapitole 4. Stabilita. [2]

### 2.1.3 Suché kamenné zdi

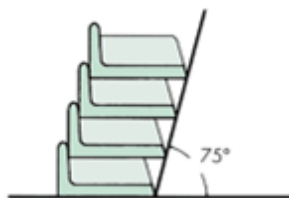
Jedná o speciální konstrukci zdi, kde je vynecháno pojivo při zdění a kamenné bloky jsou kladeny na sucho na sraz. S opěrnou zdí z opracovaných kamenů se můžeme setkat u historických staveb např. hrady, nebo v zahradnictví jako okrasné kamenné zídky. Jejich výhodou je nenáročnost. Při správném výběru materiálu a správné skladby mohou být zdi vystaveny až do výšky třech metrů. Šíře paty je minimálně 400 mm.[4]

Další možností je skládání ‚svahovek‘ typu Löffelstein na sucho při současném vyplňování zeminy a jejím řádným hutněním, které přispívá ke stabilitě stěny. Následný růst vegetace umožňuje jednoduchý přechod k nezpevněným zemním svahům a zároveň nenásilnému začlenění do přírodního svahu. Půdorys zdi mohou tvořit prakticky libovolné konvexní i konkávní křivky (obr. 2.6). Nízké zdi bez statické funkce lze zakládat pouze na štěrkopískovém podsypu. U opěrných zdí vyšších než 1,5 m zpravidla postačí základ o výšce 0,3 m, vyšší zdi tj. nad 3 m výšky, je nutno staticky posoudit. [5],[6]



Obr. 2.5 - Půdorysný tvar zdi [6]

Zdi dosahují výšek 9 m. Minimální sklon zdí je 25° a maximální 75°. (obr.2.7) Speciální typ tvarovek je Wasser Löffel, který umožňuje stavbu opěrných zdí s patou ve vodě. Je konstruována tak, aby příčky ‚svahovky‘ a její ‚nosy‘ vytvořily uzavřené komůrky, což zabraňuje vyplavování zásypu mimo konstrukci. [6]

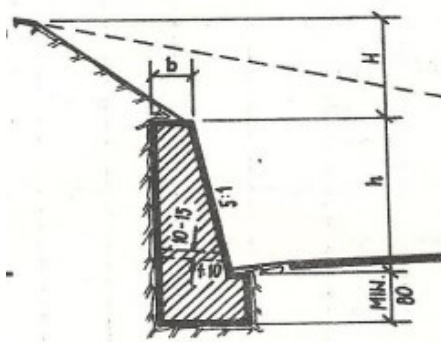


Obr. 2.6 - Maximální sklon [6]



## 2.2 Zárubní zeď

Zárubní zeď tvoří postranní omezení zemního tělesa v zářezích, nahrazují zářezový svah a zachycují vodorovné nebo šikmé tlaky od rostlé zeminy za rubem zdi. Tvarově jsou podobné opěrným zdím, ale jejich dimenzování při stejných výškách jsou menší. Zárubní zdi odolávají menším tlakům než zdi opěrné. (obr.2.8) [2], [4]

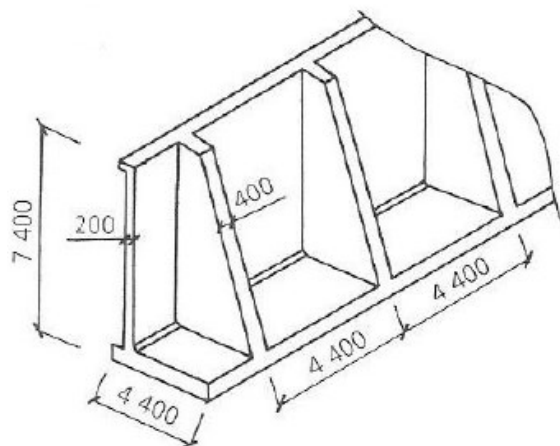


Obr. 2.7 - Zárubní zeď [5]

## 2.3 Úhlová zeď

Úhlová zeď se navrhuje zpravidla jako železobetonová, které pro přenos zatížení využívají nejen svoji tíhu, ale využívá i tíhy zeminy působící na základ stěny. Z ekonomického hlediska je výhodnější, snižuje množství betonu. Nejběžnější je prefabriková úhlová zeď, které urychlují výstavbu zdí, odstraňuje mokré procesy a závislost na klimatických podmínkách.

Zeď i základ jsou namáhány na ohyb, proto je nutno zeď vyztužit. Svislá část je brána jako konzola vetknutá do základové desky zatíženou zemním tlakem. Základ je zatížen zemínou a zespodu reakcí od základové půdy. Líc stěny je vyztužen konstrukční sítí a základ je vyztužen při horním i dolním okraji. Výztuž musí být dostatečně zakotvena a provázána proti vytržení tzv. úpravou smyčky. Úhlovou zeď vyšší jak 2 m je možno navrhnout s proměnným průřezem po výšce, zesilující směrem k základu. Bezpečnost proti překlopení zvýšíme předsunutím základu před stěnu. Ostruha na druhém konci brání proti posunutí. Zeď je vhodná pro výšky 5 až 8 m, vyšší je nutno vyztužit žebry. Vzdálenost žebry je po 2 až 5 m. Žebro podporuje stěnu jako konzola vetknutá do základu. Stěna i základ mezi žebry působí jako spojitá deska. (obr. 2.9) [7], [2]



Obr. 2.8 - Rozměr úhlové zdi [2]

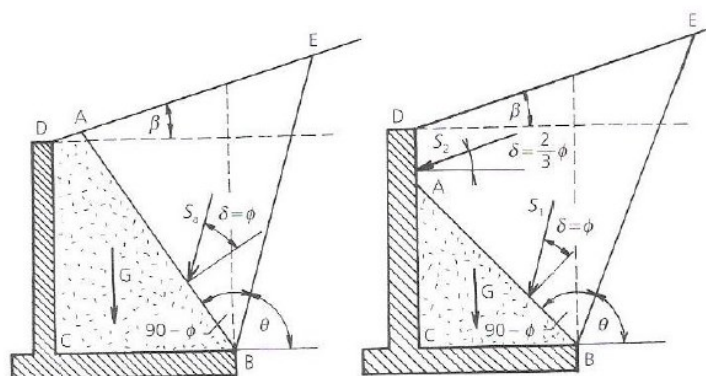
Zatížení úhlové zdi zemním tlakem je složitější. Jak bylo řečeno pro přenos zatížení působí nejen její vlastní tíha, ale i tíha zeminy. Pak se předpokládá vznik dvou smykových ploch, které svírají úhel  $(90^\circ - \phi)$  a prochází bodem  $B$ . Vnější rovina  $BE$  svírá s vodorovnou rovinou úhel  $\theta$  a vnitřní rovina  $AB$  úhel  $\theta_{as}$  a se svislou úhel  $\alpha$ . Oba úhly  $\theta$  a  $\theta_{as}$  jsou funkce vnitřního úhlu tření  $\phi$  a sklonu povrchu terénu  $\beta$ . V závislosti na výšce a šířce zdi, úhlu vnitřního tření  $\phi$  a sklonu povrchu terénu  $\beta$  nastanou dva případy:

a) Klín zeminy, který působí aktivním zemním tlakem protíná svoji kluznou plochu povrchu terénu (obr.2.10). Pak zemní tlak tvoří:

- Tíha zeminy  $G$  tělesa ohraničené plochou  $ABCD$ ,
- aktivní zemní tlak klínu zeminy  $ABE$ , výslednice  $S_I$  působí v 1/3 plochy  $AB$  a s normálou svírá úhel  $\delta = \phi$ .

b) Kluzná plocha protíná rubovou stranu zdi (obr.2.10 ). Pak zemní tlak tvoří:

- Tíha zeminy  $G$  tělesa ohraničené plochou  $ABC$ ,
- Výslednice aktivního zemního tlaku  $S_1$  působí na šikmou plochu  $AB$  v 1/3 a s normálou svírá úhel  $\delta = \phi$ , (tření zemina-zemina)
- Výslednice aktivního zemního tlaku  $S_2$  působí v úseku  $DA$  v 1/3 a s normálou svírá úhel  $\delta = 2/3\phi$ , (tření zemina-beton).[2]



Obr. 2.9 - Případy výpočtu úhlové zdi [2]

## 2.4 Obkladní zed'

Budují se v místech, kde je potřeba zabezpečit skalní zářezové svahy proti vypadávání kamenů jako ochrana před zvětráváním. Jejich funkce je spíše estetická, nejsou navrhovány statickým výpočtem.[1]

### 3. Gabiony

Jedná se o prvek složený z drátu a kamene ve tvaru krychle nebo kvádra. Používají se pro stavbu opěrných, protikoročních konstrukcí, protihlukových clon, obkladních zdí apod. Zed' je znázorněna na obrázku 3.1.

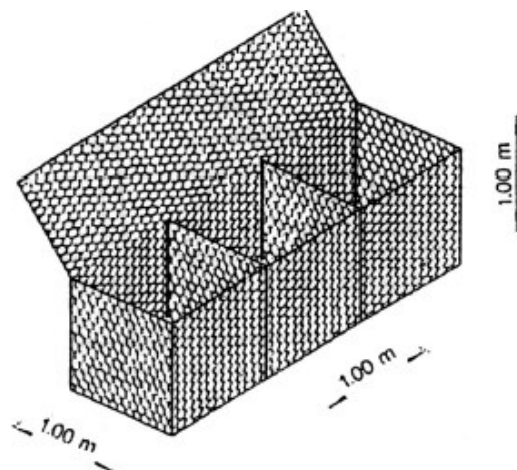


*Obr. 3.1 - Gabionová opěrná zed'*

#### Rozdělení podle konstrukce

- a) Matrace – výška max. 500 mm
- b) Koš – výška nad 500 mm

Gabion je do jisté míry vodou propustná konstrukce, tudíž plní drenážní funkci u paty svahu. O nepropustné konstrukci mluvíme tehdy, když hrozí vyplavování jemnozrnných částic ze zeminy za rubem konstrukce. Tomu se dá zabránit vložením geotextílie mezi gabion a zeminu. Mají statickou i estetickou funkci. Obvyklá šířka a výška vázaných gabionů je 1 m, avšak výška by neměla přesáhnout přes 6 m. Délka je násobkem 1 m. Tvar gabionu s rozměry je zobrazen na obrázku 3.2.



*Obr. 3.2 - Tvar gabionu [8]*

### 3.1 Konstrukce gabionu

#### a) Pletivo

- Dráty z galvanizovaného ocelového drátu, průměru 2,7 až 3 mm,
- tahová pevnost před spletením  $\geq 400$  MPa (koš) a  $\geq 350$  MPa (matrace),
- PVC ochrana v agresivním prostředí,
- hrany bezpečně spojeny vázacím drátem a zajištěny drátěnou spirálou,
- průměr oka 50 až 100 mm (pletené), 100 až 120 mm (svařované).

#### b) Kamenivo

- Pevné úlomky hornin nebo valouny,
- odolné vůči povětrnostním vlivům, neobsahují vodou rozpustné soli, nebobtnají, nejsou křehké,
- vyšší měrná hmotnost, nízká pórovitost,
- rozměr větší než průměr ok v pletivu,
- průměr minimálně 1,5 až 2 násobek průměru oka, maximálně 2,5 násobek oka v mm.[8]

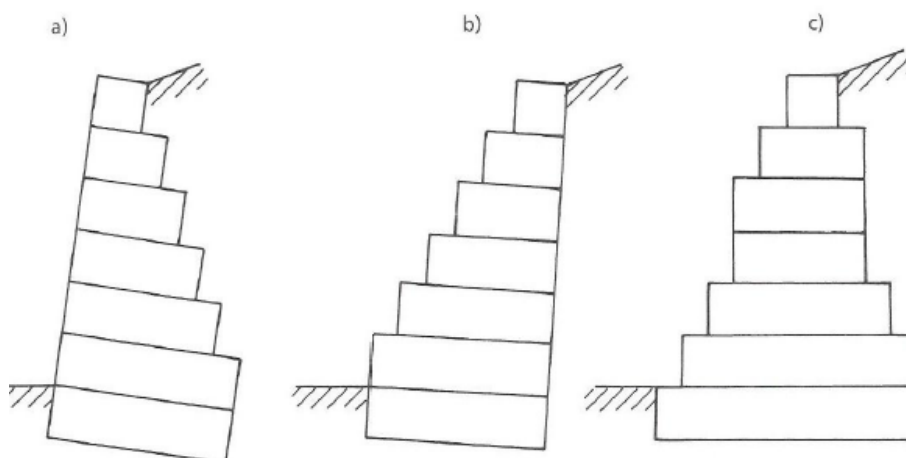
### 3.2 Technologický postup výroby gabionů

Technologické postupy se sestavují přímo na místě výstavby, rozměry podle dokumentace. Ukládají se na dokonale zhutněnou a urovnanou základovou spáru. V případě zakládání na skalním podloží, se základová spára vyčistí a je-li potřeba nerovnosti se vyplní stěrkokrtí nebo hrubým betonem. Jejich hloubka založení se určí stejně jak u gravitačních zdí výpočtem.

Po uložení jsou spojeny vazacím drátem v místě styku svislých hran buď kontinuálně, nebo ve výškových intervalech 150 mm. Plnění se provádí ručně, strojně nebo jejich kombinací. Výhodou strojního plnění je rychlost, avšak dochází k větší mezerovitosti. Pro dosažení rovinného povrchu v horní úrovni je možné použít kamenivo nižší frakce, minimálně 16 mm. Během plnění se protilehlé stěny stabilizují výztužnými dráty, aby nedocházelo k vyboulení líce gabionu, vlivem tlaku hornin. Dráty se osazují v intervalu 0,25 až 0,35 mm. Po naplnění se gabion uzavře drátěným víkem, které je ke kolmým stěnám připojen vazacím drátem.

Rub konstrukce je zasypán zeminou. Zásyp a hutnění se provádí současně s plněním. U jemnozrnné zeminy se rub gabionu opatří separační geotextílií. Ke zhutnění zeminy, do vzdálenosti 2 m od konstrukce, se používají pouze lehké hutnicí prostředky do hmotnosti 1000 kg.

Koš se ukládají střídavě, kvůli převázání. Po výšce se ukládají stupňovitě z lícové (obr. 3.3b), rubové (obr. 3.3a) strany nebo obou. (obr. 3.3c) Líc se navrhuje v poměru 10:1 a základová spára je nakloněná. [8], [2]

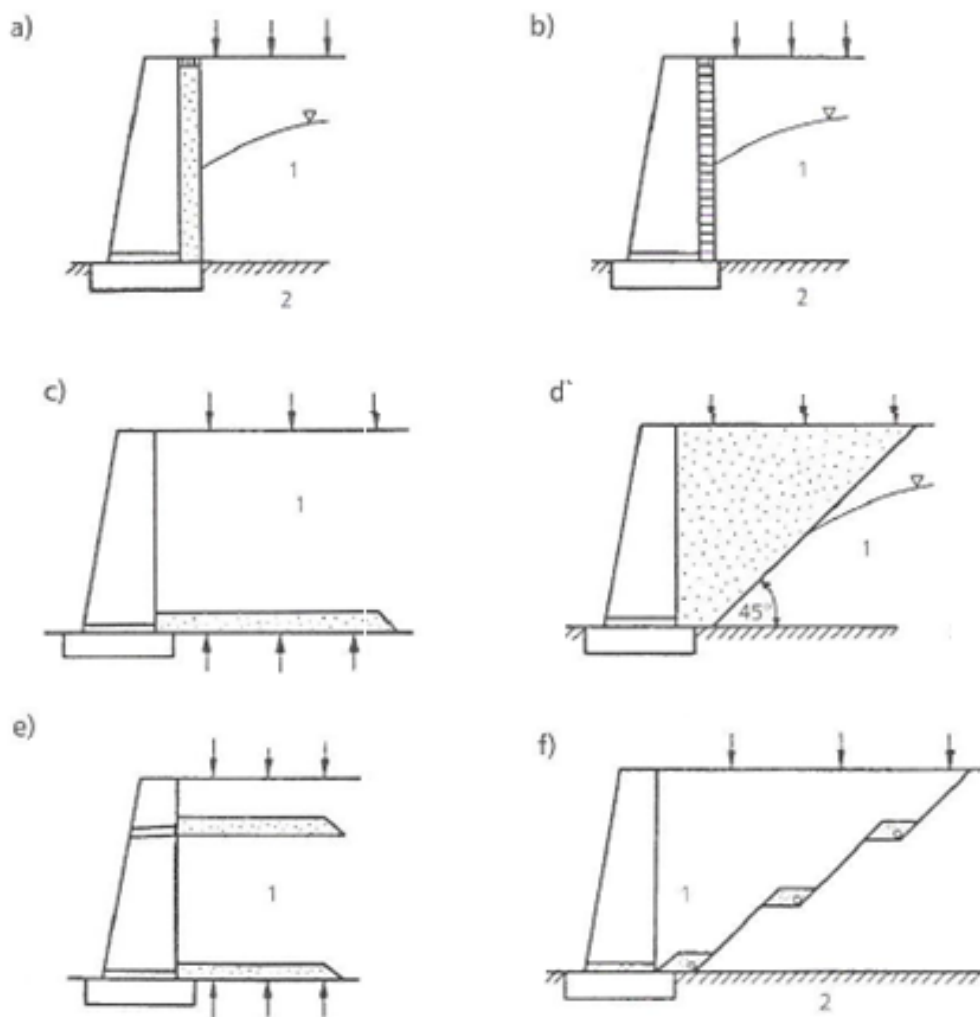


Obr. 3.3 - Ukládání gabionů po výšce [2]

## 4. Odvodnění

Vliv vody se může negativně projevit (zvýšené zatížení) na konstrukci. Proto je důležité dokonale zachytit a odvést podzemní a prosakující povrchovou vodu za rubem zdi. Nejčastějším případem je použití drenáží, které se provádějí z PVC trubek, ve vhodném spádu a osově vzdálenosti. Trubky jsou osazeny v průběhu realizace. Vytvořením okapového nosu dojde k přesazení trubky před líc zdi. Za rub zdi se uloží perforovaná roura do filtračního komínu, vytvořeného z vodopropustné zeminy (drcené kamenivo). Povrch je utěsněn vrstvou z jílovité zeminy. Vzhledem k délce zdi se provádí dilatační celky cca po 10 m. [2]

Na obrázku 4.1 je znázorněn několik způsobů odvodnění násypu za rubem zdi. U případů, kdy dotace je pouze srážkami, se realizují drenážní vrstvy těsně za rub opěrné zdi (obr.4.1a, 4.1b). V případě propustného podloží i násypu je konstruováno horizontální drenážní těleso na úrovni kontaktu základ-stěna (obr. 4.1c) nebo dvě horizontální drenážní tělesa nad sebou (obr. 4.1e). Další možnosti odvodnění mohou být zajištěny drenážním klínem pod úhlem  $45^\circ$  po celé výšce konstrukce (obr. 4.1d) nebo kaskádovitým systémem drenážních těles (obr. 4.1f).



Obr. 4.1 - Způsoby odvodnění; 1\_soudržná zemina, 2\_nepropustná zemina [2]



## 5. Zemní tlaky

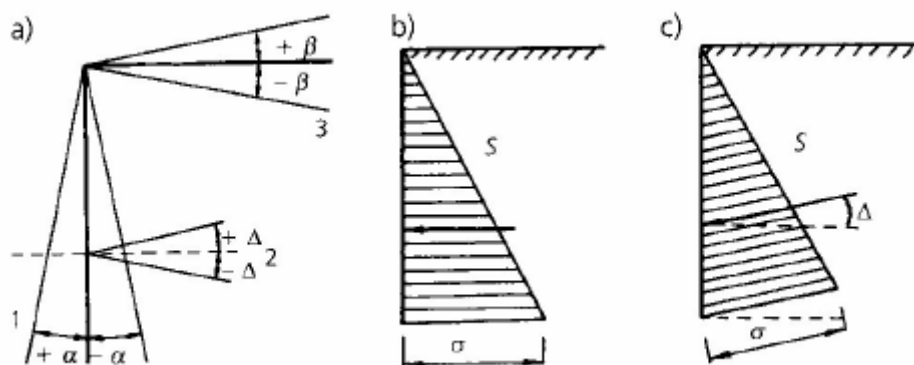
Zemina, stálé i nahodilé zatížení a voda (zatížení vodou je u opěrných a zárubních zdí eliminováno drenáží) mají vliv na konstrukci, působí na ni tlakem, který konstrukci přetváří. (dochází k tzv. interakci konstrukce se zemním prostředím). Přetvoření může být charakterizováno natočením kolem paty konstrukce, natočením kolem horního bodu konstrukce, posunutím konstrukce ve směru vodorovném a svislém nebo jejich kombinací. Velikost zemního tlaku lze určit:

- a) Početně dle teorií (např. Rankin),
- b) numerickým modelováním (metody závislých tlaků, MKP).

Součinitel zemního tlaku je obecně závislý na úhlu vnitřního tření  $\varphi$ , úhlu mezi zatížením od zeminy a rubem zdi  $\delta$  (viz. kapitola 2.1.2 Betonové gravitační zdi), sklonu rubu konstrukce  $\alpha$  a sklonu terénu  $\beta$ . Úhel mezi zeminou a rubem zdi  $\delta$  popisuje tření mezi konstrukcí a zeminou. rozhoduje o naklonění zemního tlaku  $\sigma$  a výslednice sil  $S$ . Závislost je zakreslena na obrázku 5.1. Podle Coulombovy teorie (ČSN 73 0037) je součinitel zemního tlaku  $K_a$  dán vztahem (5.3), (5.4). [9]

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (5.1)$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta) \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (5.2)$$



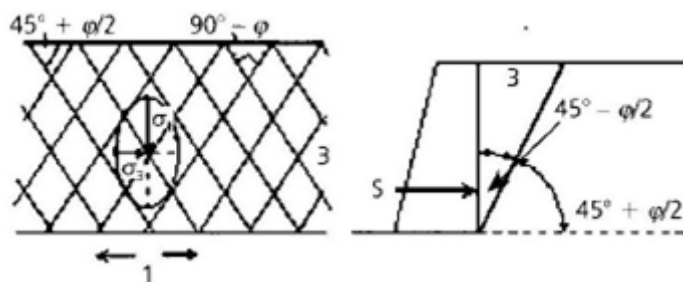
Obr. 5.1 - Úhly v konstrukci [2]

Početní stanovení zemního tlaku lze realizovat pomocí klasických postupů, ty ale umožňují stanovení pouze mezních hodnoty zemních tlaků. Z rovinného vyšetřování mezní rovnováhy zemin v Rankinově stavu, za působení pouze tíhy zeminy, dojde k porušení dvojím způsobem závislým na směru a velikosti posunu nebo deformace konstrukce. Rozeznáváme tři druhy zemních tlaků: [2]

- Aktivní zemní tlak – aktivní tlak lze chápat, jako zatížení konstrukce od zeminy k jeho vzniku dojde při deformaci (posunu) konstrukce směrem od zeminového prostředí,
- pasivní zemní tlak – pasivní zemní tlak (odpor) lze chápat jako reakci v zemině vytvořenou na základě zatížení od konstrukce, vznikne při deformaci (posunu) konstrukce směrem do zeminového prostředí,
- zemní tlak v klidu – konstrukce je natolik tuhá, že se pod vlivy zatížení neposouvá (nedeformuje).

## 5.1 Aktivní zemní tlak

Dojde k určitému uvolnění, následkem kterého poklesne vodorovné hlavní napětí  $\sigma_3$  na hodnotu aktivního zemního tlaku. Deformace aktivního zemního tlaku se pohybuje v rozmezí 0,005 až 0,002 výšky konstrukce.



Obr. 5.2 - Aktivní zemní tlak [2]

### Početní určení zemního tlaku

U nesoudržných zemin se předpokládá porušení rovinnou smykovou plochou. Podél kritické smykové plochy dochází k vyčerpání smykové pevnosti. Velikost tlaku působící na stěnu a velikost výslednice se určí ze vztahů:

$$\sigma_a = \gamma * h * K_a \quad (5.3)$$

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (5.4)$$

$$S_a = \frac{1}{2} * \gamma * K_a * h^2 \quad (5.5)$$

Smyková plocha u soudržných zemin nemá rovinný charakter, nýbrž zakřivený. Pro výpočet je smyková plocha idealizuje jako rovinná, což má za následek vyšší hodnoty aktivního tlaku a to vede k bezpečnějšímu návrhu.

$$\sigma_a = \gamma * h * K_a - 2 * c_{ef} * \sqrt{K_a} \quad (5.6)$$

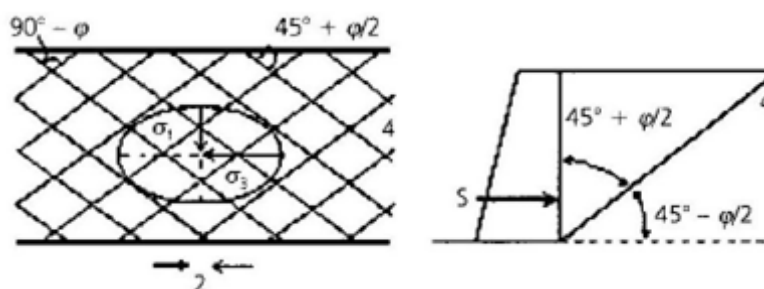
Oproti nesoudržné zemině se aktivní tlak zmenšuje o tahové napětí, které určuje druhý člen rovnice. Z rovnosti obou členů tohoto vztahu vyplývá tzv. kritická výška  $h_{ca}$ , na které soudržná zemina nevyvozuje boční tlak. [2]

$$\gamma h_{ca} K_a = 2c\sqrt{K_a} \quad (5.7)$$

$$h_{ca} = \frac{2c}{\gamma} * \frac{1}{\sqrt{K_a}}$$

## 5.2 Pasivní zemní tlak

Stlačením vzroste hlavní napětí na hodnotu pasivního zemního tlaku, přičemž napětí  $\sigma_1$  zůstává stejné a jeho hodnota je dána tíhou zeminy  $\gamma$ . Deformace je od 0,05 do 0,1 výšky konstrukce.



Obr. 5.3 - Pasivní zemní tlak [2]

### Početní určení zemního tlaku

U pasivního zemního tlaku se převážně vychází ze zakřivené smykové plochy. Rovinný předpoklad lze využít u nesoudržných zemin, pokud úhel mezi zeminou a rubem konstrukce je zanedbatelný. V obecném případě, kdy úhly  $\alpha, \beta, \Delta$  nejsou rovny nule, pak postup vychází ze vztahu:

$$\sigma_p = \sigma_z * K_p = \sigma_z * K_p \varphi \psi \quad (5.8)$$

Ve zvláštních případech, kdy úhly  $\alpha, \beta, \Delta$  jsou rovny nule, se součinitel pasivního tlaku stanoví.

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \quad (5.9)$$

U soudržných zemin, jejichž pevnost závisí na efektivních parametrech  $\phi_{ef}, c_{ef}$  se stanoví zemní tlak v hloubce  $h$  podle vztahu.

$$\sigma_p = \sigma_z K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (5.10)$$

### 5.3 Tlak v klidu

V případě, že nevzniknou žádné deformace, se velikost zemního tlaku určí ze vztahu

$$\sigma_r = \sigma_z K_b \quad (5.11)$$

Součinitel  $K_b$  se určí z Hookeova zákona za předpokladu rovnosti bočních napětí  $\sigma_x = \sigma_y$  a nulových poměrných deformací, jako funkci deformačních parametrů  $\mu$ . Pro horniny se součinitel zemního tlaku v klidu určí ze vztahu dle Terzaghiho (5.14) a pro zeminy dle Jákyho (5.15).

$$K_b = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (5.12)$$

$$K_b = 1 - \sin\varphi \quad (5.13)$$

platí pro  $\alpha=\beta=0$ . [2]

## 6. Stabilita

Stabilita obecně pro opěrné zdi dá rozdělit:

- a) Vnitřní stabilita,
- b) vnější stabilita.

### 6.1 Vnitřní stabilita

#### 1) Únosnost základové půdy (obr. 6.1)

Na gravitační zeď působí výslednice sil aktivního tlaku  $S_a$  a její vlastní tíha  $G$ , kde výslednice těchto sil  $R$  působí v základové spáře šikmou excentricitou  $e$ . Rozložením získáme svislou složku  $N$  a vodorovnou  $H$  působící v základové spáře. Excentricita je nejčastěji způsobena momentovým zatížením vstupující do základu. Za předpokladu, že kontaktní napětí v základové spáře bude rovnoměrně rozdělené na efektivní plochu  $A_{eff}$ , která je dána vynásobením efektivní šířkou základu zdi a 1 m, pak se stabilita základu zdi bude posuzovat jako pásový základ podle zásad posuzování plošných základů. Vzorce (6.1) až (6.7) slouží pro výpočet únosnosti základové spáry.

$$\sigma_{ef} = \frac{N}{A_{eff}} \leq R_d \quad (6.1)$$

$$A_{eff} = b_{eff} * 1 \quad (6.2)$$

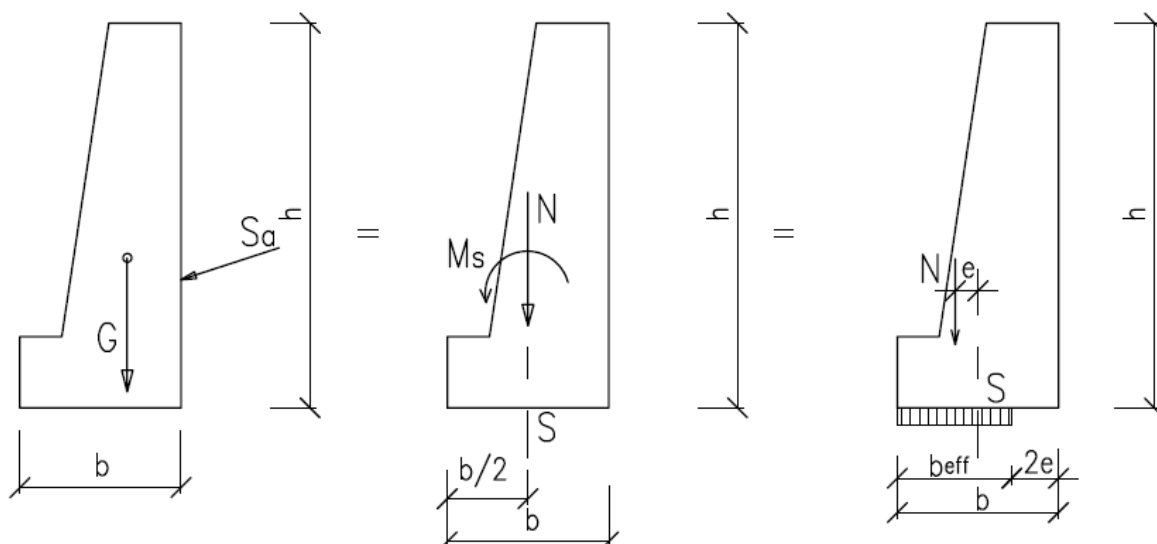
$$N = G * S_{az} \quad (6.3)$$

$$G = A * \gamma_{bet} \quad (6.4)$$

$$S_{az} = \frac{1}{2} \gamma K_a h^2 * \sin \delta \quad (6.5)$$

$$\delta = \frac{1}{3} \div \frac{2}{3} \varphi \text{ (viz tab. 1)} \quad (6.6)$$

$$e = \frac{M_s}{N} \quad (6.7)$$



Obr. 6.1 - Únosnost základové půdy [2]

## 2) Pootočení zdi (obr. 6.2)

Dalším bodem je pootočení zdi, kde na zeď působí výslednice  $R$  vzniklá od zemního tlaku a tíhy zdi. Za předpokladu, že bude homogenní podloží pod základem zdi a ukončené sedání, pak bude pootočení základové spáry od výslednice  $R$  dáno vztahem (6.8):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{12M}{\pi b^2 E_{def}} \quad (6.8)$$

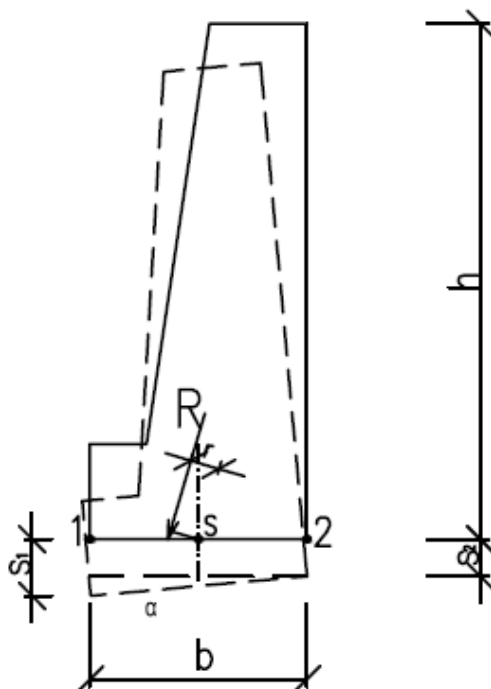
$$M = R * r \quad (6.9)$$

Pro daný vztah platí excentricita  $e = \frac{b}{4}$ . Opěrné gravitační zdi snášejí pootočení bez vážnějších poruch je však potřeba zvážit, zda se v blízkosti konstrukce nenachází další konstrukce, na které by mohly mít vliv deformace na povrchu terénu, vzniklé od pootočení zdi.

Jestliže se pod základem nachází vrstevnaté podloží, pak je nutné stanovit sedání na rubové a lící straně zdi, pod body 1 a 2. Pak pootočení se stanoví rozdílem sedání.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s_1 - s_2}{b} = \frac{\Delta s}{b} \quad (6.10)$$

Oba vztahy musí být podle zásad navrhování plošných základů menší než limitní hodnota nerovnoměrného sedání, která je podle EN 1997 – 1 rovna 1,0.

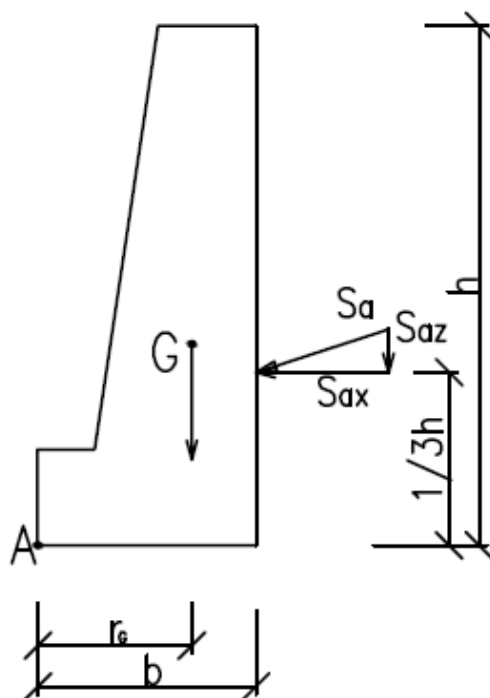


Obr. 6.2 - Pootočení [2]

### 3) Spolehlivost proti překlopení (obr. 6.3)

Konstrukce se vlivem působení aktivního zemního tlaku může překloutit. Do vzorce pro výpočet stupně bezpečnosti vstupují momenty od sil zabraňující překlopení ku silám podporujícím. Zabraňující silou je vlastní tíha konstrukce  $G$  a podporující je výslednice aktivního zemního tlaku  $S_a$ . Stupeň bezpečnosti proti překlopení podle musí být větší nebo rovno 1,5. Při výpočtu dle EN 1997 v programu GEO5 se spolehlivost vyjadřuje v procentech.

$$S.F_{\text{překlop}} = \frac{G \cdot r_s}{S_a \cdot r_{sa}} = \frac{G \cdot r_s}{\frac{1}{3} h S_{ax} - S_{az} b} \geq 1,5 \quad (6.11)$$



Obr. 6.3 - Překlopení [2]

#### 4) Spolehlivost proti posunutí (obr. 6.4)

Jak již bylo řečeno se výslednice sil působící na zeď  $R$  rozloží na vodorovnou složku  $H$  a normálovou složku  $N$ . Posunutí nastává tehdy, když síla  $H$  je větší než tření. Tření je dáno vztahem (6.12):

$$\tau = N * \operatorname{tg} \varphi \quad (6.12)$$

V případě soudržné zeminy je počítáno se soudržností:

$$\tau = N * \operatorname{tg} \varphi + c * b_{eff} \quad (6.13)$$

$$N = R * \cos \alpha \quad (6.14)$$

U jemnozrnných zemin bude do výpočtu vstupovat ještě soudržnost, která bude bránit posunutí. Pasivní zemní tlak zanedbáváme v důsledku mobilizace až po předchozí deformace. Stupeň bezpečnosti proti posunutí musí dosáhnout minimálně dvojnásobné spolehlivosti.

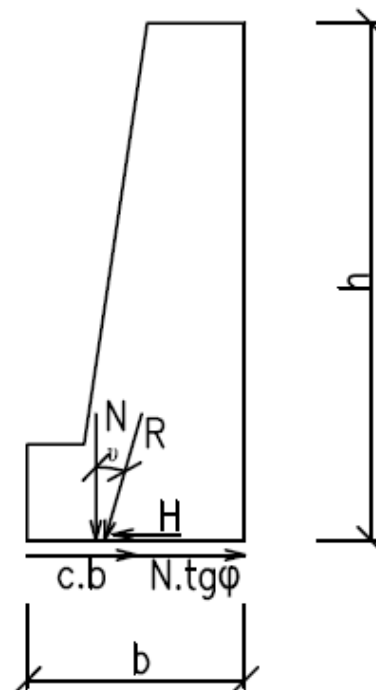


$$S.F._{posun} = \frac{N \cdot \tan \varphi + c \cdot b}{H} \geq 2 \quad (6.15)$$

$$H = R \cdot \sin \alpha \quad (6.16)$$

Při čemž musí platit  $\varphi \geq 2\delta$ . Jestliže se nedosáhne požadované spolehlivosti, taková situace může nastat u jílovitých zeminách, je třeba naklonit základovou spáru. Při výpočtu dle EN 1997 v programu GEO5 se spolehlivost vyjadřuje v procentech.

Při vysokém zatížení je možné zabránit posunutí zdi například zaražením štetovnicové stěny před zeď nebo založení na pilotách.



Obr. 6.4 - Posunutí [2]

## 5) Vnitřní stabilita jednotlivých stupňů gabionových zdí

Zatížení tlakem zeminy může vzniknout situace, kdy dojde, že štíhlý tvar konstrukce, hlavně v horních částech, se poruší. Z tohoto důvodu je dobré posoudit jednotlivé stupně proti překlopení a posunutí. Postup posudku není striktně daný, může se postupovat jak z hora dolů, tak ze spodu nahoru. V každém výpočtovém kroku se určí tíha jednotlivých stupňů nacházející se nad rovinou posouzení a k ní příslušnou hodnotu zemního tlaku.

## 6) Posouzení roztrhnutí dříku zdi – gabionová zed'

Určí se namáhání drátěného koše a konstrukce se řeší buď jako prostorová nebo rovinná. Zároveň výpočet ovlivní vlastnosti výplně a odchýlení od technologických postupů. Výpočtové vodorovné napětí, pomocí kterého se určí namáhání drátů, se vypočítá ze vztahu

$$\sigma_{yd} = (\sigma_{xs} + \sigma_{xp})\gamma_f \quad (6.17)$$

$$\sigma_{xs} = \frac{\gamma b_t}{2tg\varphi} \left(1 - e^{-\frac{2h_t K_a tg\varphi}{b_t}}\right) \quad (6.18)$$

$$\sigma_{xp} = \xi \sigma_{xs} \quad (6.19)$$

$\zeta$  součinitel podle tabulky č.2

Tab. 2 - Hodnota součinitele  $\zeta$  v závislosti výšky na šířce

ht/bt	1,25	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10
$\zeta$	0,12	0,35	0,50	0,62	0,84	1,00	1,11	1,17	1,20	1,25

V důsledku působení vodorovného zatížení  $\sigma_{xd}$  vznikne v kritickém průřezu ohybový moment (6.20) a posouvající síla (6.21).

$$M = \frac{1}{6} \sigma_{xd} \quad (6.20)$$

$$V = \frac{1}{2} \sigma_{xd} \quad (6.21)$$

Tahové napětí působící v jednom drátě nabude na hodnotu

$$\sigma_t = \frac{4Q_1}{\pi d_v^2} \quad (6.22)$$

Aby se drát nepřetrhl, musí být splněna podmínka

$$\sigma_t \leq R \quad (6.23)$$

## 7) Únosnost tahové výztuže – gabionová zed'

Jako tahová výztuž se může použít ocelová síťovina nebo geosyntetika. Postup se bude lišit podle zvoleného materiálu. Účinnost tahové výztuže se započítá až za předpokládanou smykovou plochou.

Posouzení stability proti překlopení a posunutí je možné provést různou metodikou výpočtu:

- Podle stupně bezpečnosti,
- výpočet podle EN 1997 se zavedením návrhových přístupů,
- výpočet podle LRFD. [3] [2]

## 6.2 Vnější stabilita

Všeobecné posouzení stability svahu je možné využít dvě základní metody:

- a) Metody mezní rovnováhy (prouškové metody, Petterson, GEO 5)
- b) Metody řešení napjatosti a deformace zemního tělesa – nejčastěji MKP

ad a)

Metoda mezní rovnováhy vychází z Rankinovy teorie využívané při stanovení zemních tlaků. Metoda mezní rovnováhy řeší stabilitu na smykových plochách válcových, rovinných nebo obecných. Rovnováhy na smykové ploše je dosaženo, jestliže je po celé smykové ploše dosaženo smykové pevnosti zemin. Stupeň stability je pak dán 1,5 (pro trvalé svahy) a 1,3 (pro dočasné).

### 1) Pettersonova metoda

Proužková metoda, kde se nebere v úvahu síly vyvolané sousedními proužky a vychází pouze z momentové podmínky. Tudíž momentová podmínka ke středu smykové kružnice O pro kruhovou výseč je

$$\Sigma W * x = \Sigma H * R \quad (6.21)$$

### 2) Bishopova metoda

Na rozdíl od Pettersonovy metody uvažuje se vliv od sousedních proužků a kromě momentové podmínky se vychází i z rovnováhy jednotlivých sil pro jednotlivý proužek.

### 3) Rovinné smykové plochy

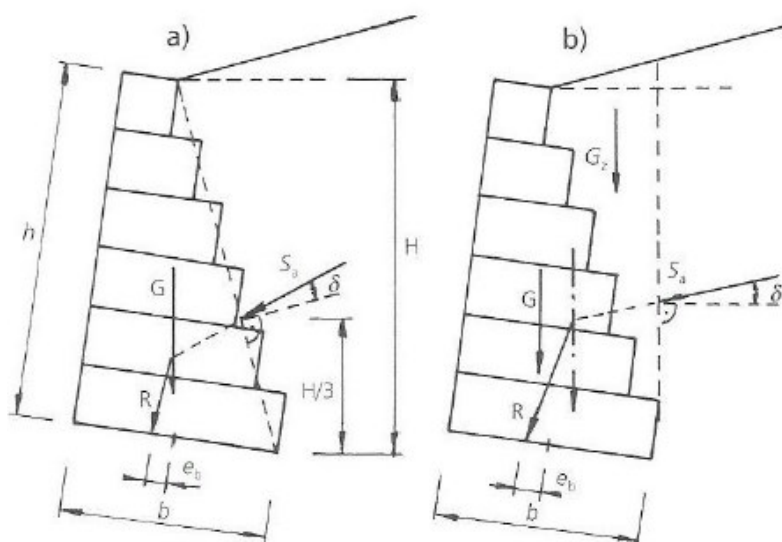
Rovinná smyková plocha rovnoběžná se svahem přibližně nahrzuje většinu smykových ploch u translančních pohybů.

### 4) Obecná smyková plocha

Kruhová i rovinná smyková plocha vyžadovala homogenní prostředí. Obecná smyková plocha je pro místa nejslabší v anizotropních zeminách. Jedná se o zeminy klínové nebo proužkové tj. metody podle Janbu, Sarmy, Morgenstein-Price. Jejich výhodou je vyhledávání nejnebezpečnějších smykových ploch.

### 5) Spolehlivost proti porušení zemského masivu – gabionové zdi

Porušení nastane tehdy, když pevnost zeminy překročí pevnost smykové plochy za zdi. Na odstupňované rubové straně působí mírně odlišný zemní tlak. Na obr. 6.5a se nepočítá se spolupůsobením zásypové zeminy, pouze s příznivým odklonem výslednice zemního tlaku od normály ke spojnici horní a dolní hrany rubové části zdi. Druhou možností je zohlednění i tíhy zásypu. (obr. 6.5b) [2]

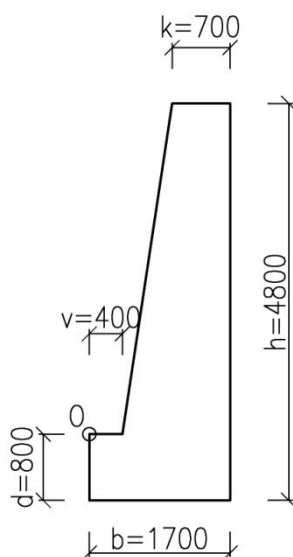


Obr. 6.5 - Zatěžovací schéma gabionových zdí [2]

## 7. Parametrická studie vlivu naklonění gravitační zdi na stabilitu

Další část bakalářské práce je parametrická studie posouzení dvou hledisek vnitřní stability, a to posunutí a překlopení, v programu GEO5. Podle zjištěných poznatků, které jsou uvedeny v rešeršní části bakalářské práce, byl zvolen vhodný tvar, rozměry opěrné gravitační zdi. Cílem je zjistit průběh posouzení stupně bezpečnosti vzhledem k vzrůstajícímu natočení.

Pro vyhodnocení byl určen jednoduchý ilustrativní příklad opěrné gravitační zdi. Rozměry konstrukce jsou znázorněny na obrázku č. 7.1. Za rubem zdi bylo zvoleno homogenní vrstva písčitého jílu tuhé konzistence (F4) s parametry:  $\gamma = 18,5 \text{ kN.m}^{-3}$ ,  $\gamma_{\text{sat}} = 18,5 \text{ kN.m}^{-3}$ ,  $\varphi_{\text{ef}} = 24,5^\circ$ ,  $c_{\text{ef}} = 14^\circ$ ,  $\nu = 0,35$ . Přetížení povrchu není zohledněno, a je počítáno bez vlivu hladiny podzemní vody za rubem zdi, viz kapitola 4. Odvodnění. Úplné informace o zemině, zatížení a materiálu jsou uvedeny v příloze č. 1 Výstup z GEO5, Vstupní data.



Obr. 7.1 - Návrh gravitační zdi

### 7.1 Posouzení

Navržená opěrná zeď byla postupně otáčena ve směru hodinových ručiček kolem bodu O znázorněný na obrázku 7.1. Posouzení bylo provedeno celkem 5x a to pro  $0^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $12^\circ$  a  $16^\circ$ . Samotný posudek byl proveden ručním výpočtem a výpočtem pomocí softwaru GEO5. Jednotlivé posudky jsou rozepsány v následujících podkapitolách.

### 7.1.1 Posouzení pomocí programu GEO5

Pro zadanou úlohu v programu byla zvolená metodika posouzení – výpočet podle EN 1997, které zavádí několik dílčích činitelů podle zvoleného Návrhového přístupu (dále jen NP). V podstatě se postupuje podle teorie mezních stavů. Řešená úloha byla posouzena podle vše tří návrhových přístupů NP1, NP2, NP3.

Návrhové přístupy se liší aplikací dílčích součinitelů na samotná zatížení nebo jejich účinky, na vlastnosti základové půdy, nebo odpory R nebo obojí. Hodnoty dílčích součinitelů se liší nejen podle použitého NP, ale také podle typu řešené opěrné konstrukce.

- **Návrhový přístup 1** – ověření provádí pro dva soubory součinitelů, uplatňující se na zatížení a materiálové charakteristiky (kombinace 1 a kombinace 2), viz. příloha 2,
- **návrhový přístup 2** – součinitele na zatížení a na odpor materiálu (únosnost), viz. příloha 3,
- **návrhový přístup 3** – součinitele na zatížení a na materiál, rozlišuje dvě zatížení. Stav GEO - zatížení vyvolané zeminou (zemní tlaky, tlak od přitížení, tlak vody apod) a stav STR (vlastní tíhu konstrukce, síly působící na konstrukci, kotvy, geovýztuhy, přesahy sítí). Viz. příloha 4.

Metodika posouzení bezpečnosti konstrukce podle Mezních stavů srovnává veličiny vzdorující (pevnost) a veličiny porušující (napětí). Obecně je možné označit posouzení Mezních stavů za modernější a výstižnější než stupeň bezpečnosti, avšak je méně přehledné.

U posouzení dle Mezních stavů pro zdi a opěrné konstrukce program stanoví normálovou a tečnou sílu v základové spáře a následně posoudí zeď na překlopení a posunutí. [3]

### 7.1.2 Výsledky podle GEO5

V samotném výpočtu zadané opěrná zdi podle zadání vyhověla na překlopení i posunutí pro všechna natočení. Posouzení bylo v programu nastaveno podle EN 1997 pro všechny její návrhové přístupy (NP1, NP2, NP3). U návrhového přístupu 1 je v programu pro výpočet zdí proveden výpočet automaticky pro obě kombinace, ale zobrazí pouze ty nejméně příznivé výsledky. Výsledky jsou znázorněny v přílohách 5, 6 a 7. Výsledky posouzení jsou vyjádřeny v %.

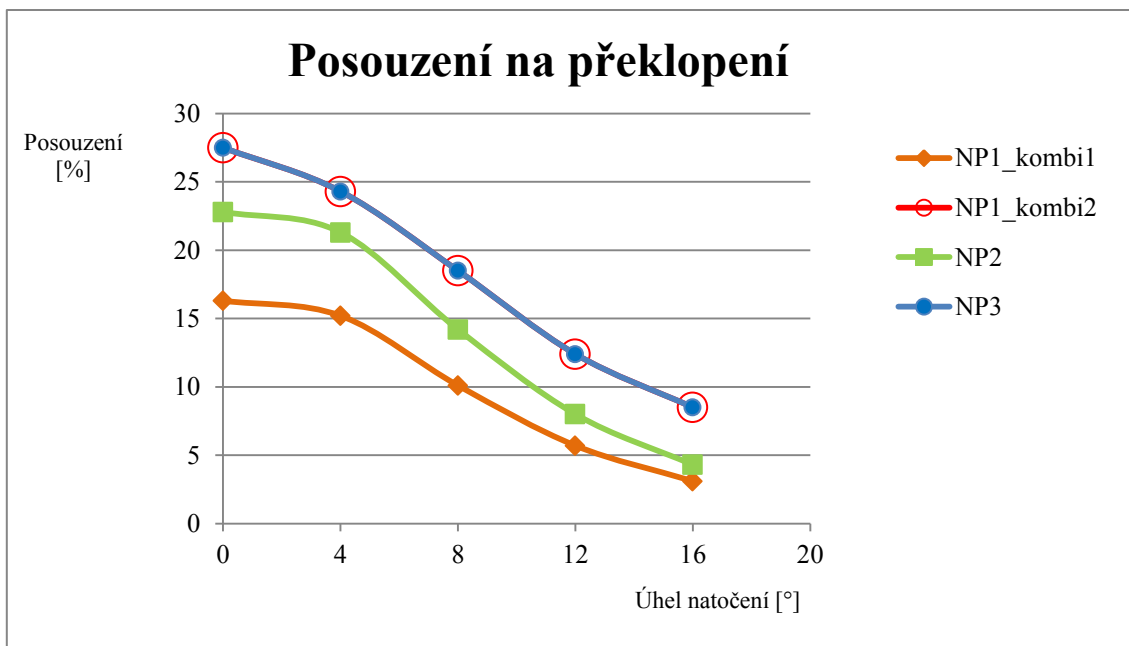
Výsledky posouzení pro obě zmiňované hlediska vnitřní stability jsou znázorněny v tabulkách 3, 4 s ohledem na jednotlivé návrhové přístupy. Pro větší přehlednost vývoje náklonu opěrné gravitační zdi byly vytvořeny grafy 1 a 2.

*Tab. 3 - Výsledky posouzení na překlopení*

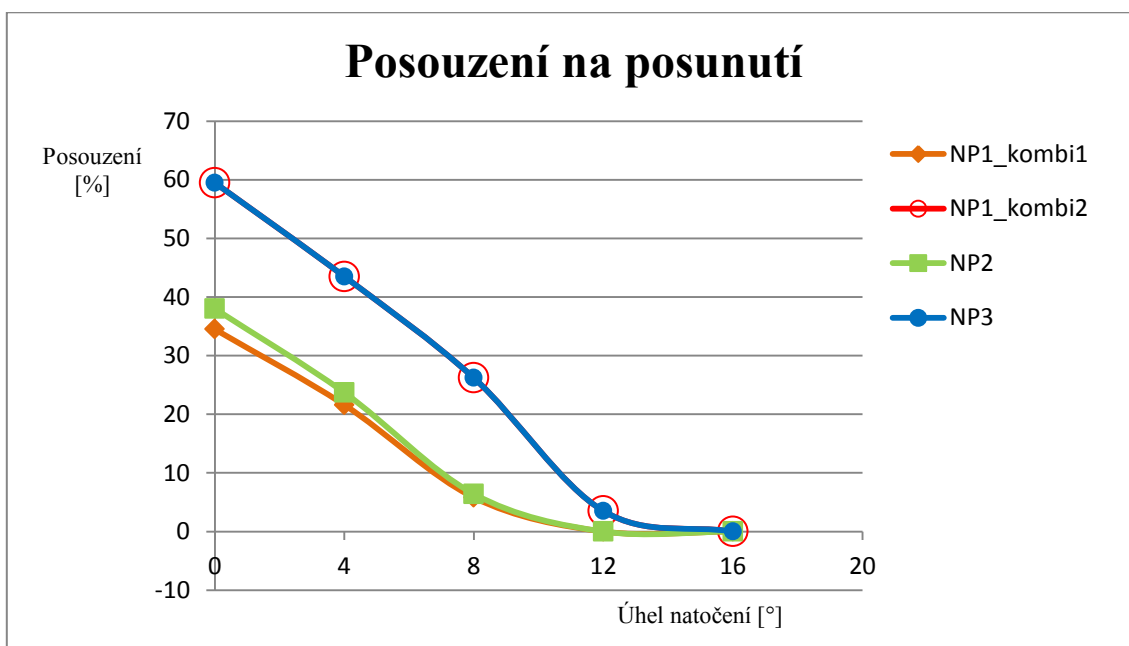
Návrhový přístup 1		Návrhový přístup 1		Návrhový přístup 2		Návrhový přístup 3	
Kombinace 1		Kombinace 2					
úhel natočení [°]	posouzení [%]	úhel natočení [°]	posouzení [%]	úhel natočení [°]	posouzení [%]	úhel natočení [°]	posouzení [%]
0	16,3	0	27,5	0	22,8	0	27,5
4	15,2	4	24,3	4	21,3	4	24,3
8	10,1	8	18,5	8	14,2	8	18,5
12	5,7	12	12,4	12	8	12	12,4
16	3,1	16	8,5	16	4,3	16	8,5

*Tab. 4 - Výsledky posouzení na posunutí*

Návrhový přístup 1		Návrhový přístup 1		Návrhový přístup 2		Návrhový přístup 3	
Kombinace 1		Kombinace 2					
úhel natočení [°]	posouzení [%]	úhel natočení [°]	posouzení [%]	úhel natočení [°]	posouzení [%]	úhel natočení [°]	posouzení [%]
0	34,5	0	59,5	0	38	0	59,5
4	21,6	4	43,5	4	23,7	4	43,5
8	5,8	8	26,2	8	6,4	8	26,2
12	0	12	3,5	12	0	12	3,5
16	0	16	0	16	0	16	0



*Graf 1- Výsledky posouzení na překlopení*



*Graf 2 - Výsledky posouzení na posunutí*



## 8. Závěr

Předmětem této bakalářské práce bylo představení gravitační opěrné zdi použité pro stabilizaci násypových svahů. V teoretické části byla pozornost věnována základním typům opěrných zdí včetně jejich návrhu a posouzení.

V následující praktické části byla pozornost zaměřena na zjištění závislosti stability opěrné zdi proti překlopení a posunutí na jejím naklonění. Závislost byla zjištěna pomocí parametrické studie v softwaru GEO 5.

Provedený ilustrativní výpočet podle zásad EN 1997 byl proveden pro všechny tři návrhové přístupy (NP1, NP2, NP3). Konstrukce byla postupně otáčena kolem stanoveného bodu. Následně se ve výsledcích se potvrdil předpoklad, že s postupným zvyšováním úhlu natočení se také zvyšovala stabilita zdi na překlopení a posunutí. Program GEO5 vyhodnotil výsledky, jako tzn. čerpání únosnosti v %. Jak je vidno ze sestavených grafů, všechny tři NP jsou po křivce lineární a klesající. Po srovnání návrhových přístupů bylo vyhodnoceno, že výsledky podle NP3 jsou shodné s výsledky NP1 – 2. Kombinace a to z důvodu, že pracují se stejnými součiniteli redukce zatížení. Zároveň se jeví jako nejvíc kritickým přístupem.

V závěru můžeme říct, že u praktického řešení opěrných gravitačních zdí s obdobným tvarem a zatížením, je možné posuzovat opěrnou zeď podle EN 1997 a to pomocí zmíněných návrhových přístupů, který byly pro tuto situaci vyhodnoceny jako nejvíce kritickým řešením.

## **9. Poděkování**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Markovi Mohylovi, za ochotu a cenné rady, které mi poskytl při vypracování práce. Také bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům, kteří mě během studia podporovali

## 10. Seznam použité literatury

- [1] PAVLÍČEK, CSC., Doc. Ing. Jan a Ing. Michal RADIMSKÝ, PH.D. *Projektování silnic a dálnic* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/5\\_Projektovani\\_silnic\\_a\\_dalnic.pdf](http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/5_Projektovani_silnic_a_dalnic.pdf)
- [2] TURČEK, Peter a Ivan SLÁVIK. *Zakladanie stavieb*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2002. Edícia skript. ISBN 80-227-1699-5.
- [3] Online nápověda. *FINE* [online]. Praha: Fine spol, 1989 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/program-tizna-zed-01/>
- [4] Zeď a štět.,: Suchá zeď. *Zeď a štět* [online]. Brno [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.zedastet.cz/cz/nase-prace.php/1-sucha-zed.html>
- [5] RADIMSKÝ, Michal. Projektování pozemních komunikací: Modul 5 - Opěrné a zárubní zdi. Brno, 2007. VUT.
- [6] Horizont silidur [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.horizont-silidur.cz/>
- [7] *Stavební komunita* [online]. 2012 [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/>
- [8] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Kapitola 30, Speciální zemní konstrukce. 1. Praha: ARCADIS Geotechnika, 2009.
- [9] Zemní tlaky. *Geotechnici* [online]. Ostrava: VŠB, 2009 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/ZS-cviko-07.pdf>

## 11. Seznam tabulek

Tab. 1 - Hodnoty úhlu pro různá rozhraní (dle NAVFAC).....	15
Tab. 2 - Hodnota součinitele $\zeta$ v závislosti výšky na šířce.....	34
Tab. 3 - Výsledky posouzení na překlopení.....	39
Tab. 4 - Výsledky posouzení na posunutí .....	39

## 12. Seznam obrázků

Obr. 2.1 - Zeď z kamenných bloků .....	13
Obr. 2.2 - Způsoby rekonstrukce .....	14
Obr. 2.3 - Tvar opěrné zdi .....	14
Obr. 2.4 - Rub opěrné zdi .....	15
Obr. 2.5 - Půdorysný tvar zdi .....	16
Obr. 2.6 - Maximální sklon .....	16
Obr. 2.7 - Zárubní zeď .....	17
Obr. 2.8 - Rozměr úhlové zdi .....	18
Obr. 2.9 - Případy výpočtu úhlové zdi .....	19
Obr. 3.1 - Gabionová opěrná zeď .....	20
Obr. 3.2 - Tvar gabionu .....	21
Obr. 3.3 - Ukládání gabionů po výšce .....	22
Obr. 4.1 - Způsoby odvodnění; 1_soudržná zemina, 2_nepropustná zemina .....	24
Obr. 5.1 - Úhly v konstrukci .....	25
Obr. 5.2 - Aktivní zemní tlak .....	26
Obr. 5.3 - Pasivní zemní tlak .....	27
Obr. 6.1 - Únosnost základové půdy .....	30
Obr. 6.2 - Pootočení .....	31
Obr. 6.3 - Překlopení .....	32
Obr. 6.4 - Posunutí .....	33
Obr. 6.5 - Zatěžovací schéma gabionových zdí .....	36
Obr. 7.1 - Návrh gravitační zdi .....	37

### **13. Seznam grafů**

Graf 1- Výsledky posouzení na překlopení .....	40
Graf 2 - Výsledky posouzení na posunutí .....	40

## 14. Seznam rovnic

Výpočet šířky koruny	(2.1)
Výpočet šířky koruny s nadložím	(2.2)
Pórový tlak	(4.1)
Objemová hmotnost zeminy s hydraulickým gradientem	(4.2)
Součinitel aktivního zemního tlaku, ČSN 73 0037	(5.1)
Součinitel pasivního zemního tlaku ČSN 73 0037	(5.2)
Aktivní zemní tak	(5.3)
Součinitel aktivního zemního tlaku	(5.4)
Výslednice aktivního zemního tlaku	(5.5)
Aktivní zemní tlak – soudržná zemina	(5.6)
Udržovací výška	(5.7)
Pasivní zemní tlak	(5.8)
Součinitel pasivního zemního tlaku	(5.9)
Pasivní zemní tlak – soudržná zemina	(5.10)
Zemní tlak v klidu	(5.11)
Součinitel zemního tlaku v klidu – dle Terzaghiho	(5.12)
Součinitel zemního tlaku v klidu – dle Jákyho	(5.13)
Výpočet únosnosti základové půdy	(6.1)
Efektivní plocha	(6.2)
Normálová složka výslednice	(6.3)
Tíha opěrné zdi	(6.4)
Svislá složka aktivního zemního tlaku	(6.5)
Výpočet úhlu $\delta$	(6.6)
Výpočet excentricity	(6.7)
Úhel natočení zdi	(6.8)
Moment od výslednice R	(6.9)
Úhel natočení pro vrstevnaté podloží	(6.10)
Výpočet stupně bezpečnosti proti překlopení	(6.11)
Tření bránící posunutí	(6.12)
Tření bránící posunutí pro soudržnou zeminu	(6.13)
Výpočet normálové složky výslednice	(6.14)
Výpočet stupně bezpečnosti proti posunutí	(6.15)
Horizontální složka výslednice	(6.16)
Výpočtové vodorovné napětí	(6.17)
Případné vodorovné napětí	(6.18)
Přídavné napětí přepočítané pomocí součinitele	(6.19)
Moment	(6.20)
Posouvající síla	(6.21)
Tahové napětí v jednom drátě	(6.22)
Podmínka výpočtu	(6.23)
Momentová podmínka ke středu smykové kružnice	(6.24)

## **15. Seznam příloh**

**Příloha 1** – Výstup z programu GEO5, Vstupní data

**Příloha 2** – Výstup z programu GEO5, Návrhový přístup 1

**Příloha 3** – Výstup z programu GEO5, Návrhový přístup 2

**Příloha 4** – Výstup z programu GEO5, Návrhový přístup 3

**Příloha 5** – Výstup z programu GEO5, Výsledky podle NP1

**Příloha 6** – Výstup z programu GEO5, Výsledky podle NP2

**Příloha 7** – Výstup z programu GEO5, Výsledky podle NP3



## **Příloha 1**

Výstup z programu GEO5, Vstupní data

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi
----------------	--------------------------

## Výpočet tížné zdi

### Vstupní data

#### Projekt

Akce : Posouzení gravitační zdi  
 Vypracoval : Klára Malotová  
 Datum : 31.1.2016

#### Materiál konstrukce

Objemová tíha  $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$

Výpočet betonových konstrukcí proveden podle normy EN 1992-1-1 (EC2).

Beton : C 20/25

Válcová pevnost v tlaku

$f_{ck} = 20,00 \text{ MPa}$

Pevnost v tahu


$f_{ctm} = 2,20 \text{ MPa}$

Ocel podélná : B500

Mez kluzu

$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$

#### Základní parametry zemin

Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{su}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\delta$ [°]
1	Třída F4, konzistence tuhá		24,50	14,00	18,50	8,50	12,00

#### Parametry zemin pro výpočet tlaku v klidu

Číslo	Název	Vzorek	Typ výpočtu	$\varphi_{ef}$ [°]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$K_r$ [-]
1	Třída F4, konzistence tuhá		soudržná	-	0,35	-	-

#### Parametry zemin

##### Třída F4, konzistence tuhá

Objemová tíha :  $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$

Napjatost : efektivní

Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 24,50^\circ$

Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 14,00 \text{ kPa}$

Třecí úhel ke zemině :  $\delta = 12,00^\circ$

Zemina : soudržná

Poissonovo číslo :  $\nu = 0,35$

Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 18,50 \text{ kN/m}^3$

#### Geologický profil a přiřazení zemin

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	-	Třída F4, konzistence tuhá	

#### Založení

Typ založení : zemina - geologický profil

#### Tvar terénu

Terén za konstrukcí je rovný.

!	Pouze pro nekomerční využití	!
		1

[GEO5 - Tízná zed' (studentská licence) | verze 5.2016.22.0 | hardwarový klíč 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine s.p.o. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]

**Vliv vody**

Hladina podzemní vody je pod úrovní konstrukce.

**Odpor na líci konstrukce**

Odpor na líci konstrukce není uvažován.

**Nastavení výpočtu fáze**

Návrhová situace : trvalá



Pouze pro nekomerční využití



2

[GEO5 - Třízná zed (studentská licence) | verze 5.2016.22.0 | hardwarový klíč 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine s.p.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]

## **Příloha 2**

Výstup z programu GEO5, Návrhový přístup 1

**Výpočet tížné zdi****Vstupní data****Nastavení**

Standardní - EN 1997 - DA1

**Materiály a normy**

Betonové konstrukce : EN 1992-1-1 (EC2)

Součinitele EN 1992-1-1 : standardní

Zděná (kamenná) zeď : EN 1996-1-1 (EC6)

**Výpočet zdi**

Výpočet aktivního tlaku : Coulomb (ČSN 730037)

Výpočet pasivního tlaku : Caquot-Kerisel (ČSN 730037)

Výpočet zemětřesení : Mononobe-Okabe

Tvar zemního klínu : počítat šikmý

Dovolená excentricita : 0,333

Metodika posouzení : výpočet podle EN1997

Návrhový přístup : 1 - redukce zatížení a materiálu

Součinitele redukce zatížení (F)					
Trvalá návrhová situace					
		Kombinace 1		Kombinace 2	
		Nepříznivé	Příznivé	Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]	1,30 [-]	0,00 [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$	1,35 [-]		1,00 [-]	

Součinitele redukce materiálu (M)			
Trvalá návrhová situace			
		Kombinace 1	Kombinace 2
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_\phi =$	1,00 [-]	1,25 [-]
Součinitel redukce efektivní soudržnosti :	$\gamma_c =$	1,00 [-]	1,25 [-]
Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti :	$\gamma_{cu} =$	1,00 [-]	1,40 [-]
Součinitel redukce Poissonova čísla :	$\gamma_v =$	1,00 [-]	1,00 [-]

Kombinační součinitele pro proměnná zatížení			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel kombinační hodnoty :	$\psi_0 =$	0,70 [-]	
Součinitel časté hodnoty :	$\psi_1 =$	0,50 [-]	
Součinitel kvazistálé hodnoty :	$\psi_2 =$	0,30 [-]	



Pouze pro nekomerční využití



### **Příloha 3**

Výstup z programu GEO5, Návrhový přístup 2

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi
----------------	--------------------------

## Výpočet tížné zdi

### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA2

#### Materiály a normy

Betonové konstrukce : EN 1992-1-1 (EC2)

Součinitele EN 1992-1-1 : standardní

Zděná (kamenná) zeď : EN 1996-1-1 (EC6)

#### Výpočet zdi

Výpočet aktivního tlaku : Coulomb (ČSN 730037)

Výpočet pasivního tlaku : Caquot-Kerisel (ČSN 730037)

Výpočet zemětřesení : Mononobe-Okabe

Tvar zemního klínu : počítat šikmý

Dovolená excentricita : 0,333

Metodika posouzení : výpočet podle EN1997

Návrhový přístup : 2 - redukce zatížení a odporu

Součinitele redukce zatížení (F)			
Trvalá návrhová situace			
		Nepříznivé	Priznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$	1,35 [-]	
Součinitele redukce odporu (R)			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel redukce odporu na překlopení :	$\gamma_{Re} =$	1,40 [-]	
Součinitel redukce odporu na posunutí :	$\gamma_{Rh} =$	1,10 [-]	
Součinitel redukce odporu základové půdy :	$\gamma_{Rv} =$	1,40 [-]	
Kombinační součinitele pro proměnná zatížení			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel kombinační hodnoty :	$\psi_0 =$	0,70 [-]	
Součinitel časté hodnoty :	$\psi_1 =$	0,50 [-]	
Součinitel kvazistálé hodnoty :	$\psi_2 =$	0,30 [-]	



Pouze pro nekomerční využití



1

[GEO5 - Tížná zeď (studentská licence) | verze 5.2016.22.0 | hardwarový klíč 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine s.p.o. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]

#### **Příloha 4**

Výstup z programu GEO5, Návrhový přístup 3



Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi
----------------	--------------------------

## Výpočet tížné zdi

### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA3

#### Materiály a normy

Betonové konstrukce : EN 1992-1-1 (EC2)

Součinitele EN 1992-1-1 : standardní

Zděná (kamenná) zeď : EN 1996-1-1 (EC6)

#### Výpočet zdi

Výpočet aktivního tlaku : Coulomb (ČSN 730037)

Výpočet pasivního tlaku : Caquot-Kerisel (ČSN 730037)

Výpočet zemětřesení : Mononobe-Okabe

Tvar zemního klínu : počítat šikmý

Dovolená excentricita : 0,333

Metodika posouzení : výpočet podle EN1997

Návrhový přístup : 3 - redukce zatížení GEO, STR a materiálů

Součinitele redukce zatížení (F)					
Trvalá návrhová situace					
		Stav STR		Stav GEO	
		Nepříznivé	Příznivé	Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]	1,00 [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]	1,30 [-]	0,00 [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$			1,00 [-]	

Součinitele redukce materiálů (M)			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_\phi =$	1,25 [-]	
Součinitel redukce efektivní soudržnosti :	$\gamma_c =$	1,25 [-]	
Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti :	$\gamma_{cu} =$	1,40 [-]	
Součinitel redukce Poissonova čísla :	$\gamma_\nu =$	1,00 [-]	

Kombinační součinitele pro proměnná zatížení			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel kombinační hodnoty :	$\psi_0 =$	0,70 [-]	
Součinitel časté hodnoty :	$\psi_1 =$	0,50 [-]	
Součinitel kvazistálé hodnoty :	$\psi_2 =$	0,30 [-]	



Pouze pro nekomerční využití



1

[GEO5 - Tízná zeď (studentská licence)] | verze 5.2016.22.0 | hardwarový klíč 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine s.pol. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]

## **Příloha 5**

Výstup z programu GEO5, Výsledky podle NP1

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Původní stav
----------------	--

## Výpočet tížné zdi

### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA1

#### Posouzení čís. 1

##### Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 1

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh. - zeď	0,00	-2,04	123,28	1,10	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	21,18	-0,83	4,50	1,70	1,350	1,350	1,000

##### Posouzení celé zdi

###### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res} = 145,94$  kNm/m

Moment klopící  $M_{ovr} = 23,81$  kNm/m

###### Zeď na překlpení VYHOVUJE

###### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 82,75$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 28,59$  kN/m

###### Zeď na posunutí VYHOVUJE

###### Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE

Maximální napětí v základové spáře : 100,55 kPa

##### Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 2

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh. - zeď	0,00	-2,04	123,28	1,10	1,000	1,000	1,000
Aktivní tlak	39,14	-1,03	6,77	1,70	1,000	1,000	1,000

##### Posouzení celé zdi

###### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res} = 147,11$  kNm/m

Moment klopící  $M_{ovr} = 40,44$  kNm/m

###### Zeď na překlpení VYHOVUJE

###### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 65,79$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 39,14$  kN/m

###### Zeď na posunutí VYHOVUJE

###### Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE

Maximální napětí v základové spáře : 79,27 kPa



Pouze pro nekomerční využití



1

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 4°
----------------	---

#### Výpočet tížné zdi

##### Vstupní data

##### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA1

##### Posouzení čís. 1

Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 1

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,96	123,82	1,24	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	19,92	-0,91	2,82	1,77	1,350	1,350	1,000

##### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res}$  = 160,26 kNm/m

Moment kloupcí  $M_{ovr}$  = 24,35 kNm/m

**Zeď na překlpení VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res}$  = 82,74 kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act}$  = 17,84 kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 100,31 kPa

Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 2

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,96	123,82	1,24	1,000	1,000	1,000
Aktivní tlak	38,05	-1,02	3,91	1,78	1,000	1,000	1,000

##### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res}$  = 160,48 kNm/m

Moment kloupcí  $M_{ovr}$  = 38,97 kNm/m

**Zeď na překlpení VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res}$  = 66,52 kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act}$  = 28,96 kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 76,34 kPa



Pouze pro nekomerční využití



Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 8°
----------------	---

#### Výpočet tížné zdi

##### Vstupní data

##### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA1

##### Posouzení čís. 1

Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 1

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,87	122,90	1,37	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	16,14	-0,80	1,12	1,82	1,350	1,350	1,000

##### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlápění

Moment vzdorující  $M_{res} = 171,37$  kNm/m

Moment kloupící  $M_{ovr} = 17,38$  kNm/m

**Zeď na překlápění VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 81,26$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 4,71$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 98,89 kPa

Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 2

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,87	122,90	1,37	1,000	1,000	1,000
Aktivní tlak	34,28	-0,92	1,07	1,84	1,000	1,000	1,000

##### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlápění

Moment vzdorující  $M_{res} = 170,57$  kNm/m

Moment kloupící  $M_{ovr} = 31,52$  kNm/m

**Zeď na překlápění VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 65,46$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 17,15$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 75,17 kPa

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 12°
----------------	--

#### Výpočet tížné zdi

##### Vstupní data

##### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA1

##### Posouzení čís. 1

Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 1

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,77	127,51	1,48	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	12,09	-0,66	0,00	1,88	1,350	1,350	1,000

##### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res} = 188,96$  kNm/m

Moment kloupcí  $M_{ovr} = 10,76$  kNm/m

**Zeď na překlpení VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 82,14$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = -11,08$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 100,54 kPa

Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 2

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,77	127,51	1,48	1,000	1,000	1,000
Aktivní tlak	29,77	-0,78	-1,14	1,90	1,000	1,000	1,000

##### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res} = 186,78$  kNm/m

Moment kloupcí  $M_{ovr} = 23,22$  kNm/m

**Zeď na překlpení VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 66,35$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 2,31$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 76,42 kPa

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 16°
----------------	--

## Výpočet tížné zdi

### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA1

#### Posouzení čís. 1

Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 1

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,65	122,88	1,62	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	8,27	-0,55	-0,58	1,93	1,350	1,350	1,000

#### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res} = 198,10$  kNm/m

Moment kloupcí  $M_{ovr} = 6,11$  kNm/m

**Zeď na překlpení VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 78,78$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = -22,90$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 94,48 kPa

Spočtené síly působící na konstrukci - kombinace 2

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,65	122,88	1,62	1,000	1,000	1,000
Aktivní tlak	25,18	-0,66	-2,72	1,96	1,000	1,000	1,000

#### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res} = 194,26$  kNm/m

Moment kloupcí  $M_{ovr} = 16,54$  kNm/m

**Zeď na překlpení VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 63,75$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = -8,90$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 71,77 kPa



Pouze pro nekomerční využití



## **Příloha 6**

Výstup z programu GEO5, Výsledky podle NP2



Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Původní stav
----------------	--

## Výpočet tížné zdi

### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA2

#### Posouzení čís. 1

#### Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh. - zeď	0,00	-2,04	123,28	1,10	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	21,18	-0,83	4,50	1,70	1,350	1,350	1,000

#### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res} = 104,24$  kNm/m

Moment klopící  $M_{ovr} = 23,81$  kNm/m

**Zeď na překlpení VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 75,23$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 28,59$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

#### Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE

Maximální napětí v základové spáře : 100,55 kPa



Pouze pro nekomerční využití



1

[GEO5 - Tížná zeď (studentská licence) | verze 5.2016.22.0 | hardwarový klíč 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine s.pol. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 4°
----------------	---

#### Výpočet tížné zdi

#### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA2

#### Posouzení čís. 1

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,96	123,82	1,24	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	19,92	-0,91	2,82	1,77	1,350	1,350	1,000

#### Posouzení celé zdi

#### Posouzení na překlápění

Moment vzdorující  $M_{res} = 114,47$  kNm/m

Moment kloupící  $M_{ovr} = 24,35$  kNm/m

**Zeď na překlápění VYHOVUJE**

#### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 75,22$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 17,84$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 100,31 kPa



Pouze pro nekomerční využití



1

[GEOS - Tízná zeď (studentská licence) | verze 5.2016.22.0 | hardwarový klíč: 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]

## Výpočet tížné zdi

## Vstupní data

## Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA2

## Posouzení čís. 1

## Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,87	122,90	1,37	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	16,14	-0,80	1,12	1,82	1,350	1,350	1,000

## Posouzení celé zdi

## Posouzení na překlápění

Moment vzdorující  $M_{res} = 122,41$  kNm/mMoment kloupící  $M_{ovr} = 17,38$  kNm/m

Zeď na překlápění VYHOVUJE

## Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 73,87$  kN/mVodor. síla posunující  $H_{act} = 4,71$  kN/m

Zeď na posunutí VYHOVUJE

Celkové posouzení - ZED VYHOVUJE

Maximální napětí v základové spáře : 98,89 kPa



Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 12°
----------------	--

#### Výpočet tížné zdi

##### Vstupní data

##### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA2

##### Posouzení čí. 1

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,77	127,51	1,48	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	12,09	-0,66	0,00	1,88	1,350	1,350	1,000

##### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlápění

Moment vzdorující  $M_{res} = 134,97$  kNm/m

Moment kloupící  $M_{ovr} = 10,76$  kNm/m

**Zeď na překlápění VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 74,68$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = -11,08$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 100,54 kPa



Pouze pro nekomerční využití



1

[GEO5 - Tízná zeď (studentská licence) | verze 9.2016.22.0 | hardwarový klíč: 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 16°
----------------	--

#### Výpočet tížné zdi

##### Vstupní data

##### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA2

##### Posouzení čís. 1

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,65	122,88	1,62	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	8,27	-0,55	-0,58	1,93	1,350	1,350	1,000

##### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlapaní

Moment vzdorující  $M_{res} = 141,50$  kNm/m

Moment klopící  $M_{ovr} = 6,11$  kNm/m

**Zeď na překlapaní VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 71,62$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = -22,90$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 94,48 kPa



Pouze pro nekomerční využití



## **Příloha 7**

Výstup z programu GEO5, Výsledky podle NP3

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Původní stav
----------------	--

## Výpočet tížné zdi

### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA3

#### Posouzení čís. 1

#### Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh. - zeď	0,00	-2,04	123,28	1,10	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	39,14	-1,03	6,77	1,70	1,000	1,000	1,000

#### Posouzení celé zdi

##### Posouzení na překlpení

Moment vzdorující  $M_{res} = 147,11$  kNm/m

Moment klopící  $M_{ovr} = 40,44$  kNm/m

**Zeď na překlpení VYHOVUJE**

##### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 65,79$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 39,14$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

#### Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE

Maximální napětí v základové spáře : 101,88 kPa



Pouze pro nekomerční využití



1

[GEO5 - Tížná zeď (studentská licence) | verze 5.2016.22.0 | hardwarový klíč 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine s.pol. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]

Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 4°
----------------	---

#### Výpočet tížné zdi

#### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA3

#### Posouzení čís. 1

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,96	123,82	1,24	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	38,05	-1,02	3,91	1,78	1,000	1,000	1,000

#### Posouzení celé zdi

#### Posouzení na překlápění

Moment vzdorující  $M_{res}$  = 160,48 kNm/m

Moment kloupící  $M_{ovr}$  = 38,97 kNm/m

**Zeď na překlápění VYHOVUJE**

#### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res}$  = 66,52 kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act}$  = 28,96 kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 101,70 kPa



Pouze pro nekomerční využití



1

[GEOS - Tížná zeď (studentská licence) | verze 5.2016.22.0 | hardwarový klíč: 1711 / 1 | Malotová Klára | Copyright © 2016 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.fine.cz]



Klára Malotová	Posouzení gravitační zdi Natočení o 8°
----------------	---

#### Výpočet tížné zdi

#### Vstupní data

#### Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA3

#### Posouzení čí. 1

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. předl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,87	122,90	1,37	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	34,28	-0,92	1,07	1,84	1,000	1,000	1,000

#### Posouzení celé zdi

#### Posouzení na překlapaní

Moment vzdorující  $M_{res} = 170,57$  kNm/m

Moment kloupící  $M_{ovr} = 31,52$  kNm/m

**Zeď na překlapaní VYHOVUJE**

#### Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 65,46$  kN/m

Vodor. síla posunující  $H_{act} = 17,15$  kN/m

**Zeď na posunutí VYHOVUJE**

**Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 100,31 kPa

## Výpočet tížné zdi

## Vstupní data

## Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA3

## Posouzení čísl. 1

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,77	127,51	1,48	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	29,77	-0,78	-1,14	1,90	1,000	1,000	1,000

## Posouzení celé zdi

## Posouzení na překlápění

Moment vzdorující  $M_{res} = 186,78 \text{ kNm/m}$ Moment kloupící  $M_{ovr} = 23,22 \text{ kNm/m}$ 

Zeď na překlápění VYHOVUJE

## Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 66,35 \text{ kN/m}$ Vodor. síla posunující  $H_{act} = 2,31 \text{ kN/m}$ 

Zeď na posunutí VYHOVUJE

Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE

Maximální napětí v základové spáře : 102,09 kPa



## Výpočet tížné zdi

## Vstupní data

## Nastavení

Standardní - EN 1997 - DA3

## Posouzení čí. 1

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	$F_{hor}$ [kN/m]	Působíště z [m]	$F_{vert}$ [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh - zeď	0,00	-1,65	122,88	1,62	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	25,18	-0,66	-2,72	1,96	1,000	1,000	1,000

## Posouzení celé zdi

## Posouzení na překlápění

Moment vzdorující  $M_{res} = 194,26$  kNm/mMoment kloupící  $M_{ovr} = 16,54$  kNm/m

Zeď na překlápění VYHOVUJE

## Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující  $H_{res} = 63,75$  kN/mVodor. síla posunující  $H_{act} = -8,90$  kN/m

Zeď na posunutí VYHOVUJE

Celkové posouzení - ZED VYHOVUJE

Maximální napětí v základové spáře : 96,00 kPa

